

**The text that follows is a TRANSLATION
O texto que segue é uma TRADUÇÃO**

Un Modelo Estocastico para Estimar la Capacidad de Soporte Humano en la Carretera Transamazonica del Brasil

Please cite the original article:
Favor citar o trabalho original:

**Fearnside, P.M. 1985. A stochastic
model for estimating human
carrying capacity in Brazil's
Transamazon Highway
colonization area. *Human Ecology*
13(3): 331-369. Doi:
10.1007/BF01558255**

Disponível em: <http://philip.inpa.gov.br>

UN MODELO ESTOCASTICO PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD DE SOPORTE
HUMANO EN LA CARRETERA TRANSAMAZONICA DEL BRASIL

Philip M. Fearnside
Departamento de Ecologia
Instituto Nacional de Pesquisas
da Amazônia - INPA
Caixa Postal 478
69011 Manaus-Amazonas
BRASIL

27 agosto 1985

Revisado 7 octubre 1985

Revisado 4 febrero 1993

Revisado 17 febrero 1993

Revisado 15 marzo 1993

RESUMEN:

La capacidad de soporte humano, para poblaciones agrarias en los trópicos, puede ser estimada con la ayuda de simulaciones del agro-ecosistema por computador. Un modelo estocástico es desarrollado para estimar la capacidad de soporte en un área de estudio localizada en uno de los proyectos de colonización dirigida a lo largo de la carretera Transamazónica. La capacidad de soporte está definida operacionalmente en terminos de una relación, computada empíricamente, entre la densidad poblacional y la probabilidad de fracaso del colono respectandose diversos criterios. Cuando una alta densidad poblacional hace que la probabilidad de fracaso exceda un nivel máximo aceptable, la población puede ser considerada mayor que la capacidad de soporte. Las probabilidades de fracaso del colono son aquellas sostenibles durante un largo período de años simulados.

La alta variabilidad en los rendimientos de los cultivos parece ejercer un fuerte efecto sobre la probabilidad de fracaso, basandose en comparación entre ejecuciones determinísticas y estocásticas, de las simulaciones. Las probabilidades de fracaso aumentan por la variabilidad en las bajas densidades de población, pero disminuen con densidades extremadamente altas en las que la mayoría de los colonos fracasan en años considerados "promedio". Los efectos pueden ser investigados para colonos de diferentes antecedentes o que adopten diferentes tiempos de barbechado (descanso de la tierra) u otras prácticas agrícolas. Las probabilidades de fracaso en ejecuciones padrones son más elevadas que aquellas consideradas aceptables por proyectistas gubernamentales, en todas las densidades poblacionales simuladas en las ejecuciones estocásticas del actual estudio (densidad más baja: 24 personas/km²), dando así, apoyo a la impresión informal de muchos en el sentido que la capacidad de soporte de la mayor parte de la tierra firma Amazónica es baja.

INTRODUCCION

Este trabajo presenta los resultados generales de un estudio mas amplio (Fearnside, 1978, 1986a) que está dirigido a evaluar los factores que afectan la capacidad de soporte humano en un tramo de la carretera Transamazónica de Brasil. Factores relacionados a la variabilidad en las producciones agrícolas son aquí de especial interés. La capacidad de soporte humano es el número de personas que pueden ser sostenidas, por plazo indeterminado, en una área con un dado padrón de vida, sin que haya degradación ambiental, dado presunciones apropiadas sobre la tecnología utilizada y los hábitos de consumo.

La carretera Transamazónica es la parte central del Programa de Integración Nacional (P.I.N.) de Brasil, lanzado en 1970 con objetivos que incluyeron el asentamiento rápido de colonos en vastas áreas de la selva tropical Amazónica y la integración de la producción de estas áreas con la economía mercantil nacional (vea Fearnside, 1984a, 1986a; Goodland & Irwin, 1975; Kleinpenning, 1975, 1979; Moran, 1981; Smith, 1976, 1981, 1982). Las áreas de colonización eran para asentar, en parcelas de 100 há, pequeños productores oriundos de áreas densamente pobladas de otras partes del Brasil. Los programas macizos de colonización fueron paralizados cuando solamente al rededor de 5% de las 100,000 familias planeadas para la Transamazónica habían sidos asentadas. No obstante, las transformaciones sociales y agrícolas en el centro-sud brasileño han resultado en um fuerte flujo de migración de pequeños agricultores, para Amazonía, especialmente para el estado de Rondônia. Aunque la promoción activa y el incentivo por el gobierno a la migración hayan disminuido, mejorías en la red vial, ahora en ejecución, junto con diferencias fuertes entre las oportunidades existentes en la Amazonía y en las áreas de origen de los migrantes, hacen que sea probable la continuación del flujo, junto con tentativas gubernamentales de regular y dar asistencia al proceso de asentamiento una vez que los migrantes llegan a la frontera. Estudios de la relación entre la densidad poblacional humana, recursos agrícolas y cambios ambientales, son por tanto, potencialmente de gran importancia para el Amazonas, además de ser fundamentales para la investigación sobre ecología humana en general.

Cabe resaltar que los resultados aquí apresentados son preliminares, siendo necesarias más ejecuciones de simulación y pruebas del modelo antes que se puedan dar conclusiones concretas. El lector también debe ser prevenido de las limitaciones de las simulaciones de este tipo: los resultados representan proyecciones de aquello que sería esperado que ocurriera dadas las condiciones y relaciones explicadas en el modelo, y no debe ser confundido con las predicciones sobre acontecimientos futuros en la Transamazónica (vea Fearnside, 1983a). La distinción entre la simulación y la realidad nunca deve ser olvidada.

El modelo aquí presentado, y sus parámetros de entrada, se refieren a un "área de estudio intensivo" de 23,600 há, ubicada en la Agrovila Grande Esperança, en el Estado de Pará. Esta "agrovila" (villa agrícola planificada) está situada en el municipio de Prainha a 3°22' Latitud Sur, 52°37' Longitud Oeste (Brasil, Presidência da República, IBGE, 1978), en la tierra firme interfluvial entre los ríos Xingú y Tapajós (Fig. 1). El área en estudio incluye las parcelas en la faja de la Transamazónica entre los km 43 y km 58, y la extensión completa de tres caminos laterales (15/17, 16/18 y 17/19). Entre las 236 parcelas en el área de estudio intensivo, en 165 (70%) fueron hechos muestros durante más de dos años (1974-1976) de residencia en la Agrovila Grande Esperança. Una visita previa fue hecha a la zona en 1973 (Fearnside, 1974). Veintiocho visitas entre 1978 y 1985 han aportado informaciones adicionales como parte de un programa de investigación a lo largo plazo sobre la capacidad de soporte en la Amazonía.

Estudios previos de capacidad de soporte han empleado vários abordajes, dependiendo de la finalidad de la estimativa, la tecnología utilizada por la población humana en estudio, los datos disponibles, y las percepciones particulares del investigador. Muchas veces falta una distinción clara entre los usos "sostenibles" e "insostenibles" del termino "capacidad de soporte". Frecuentemente al término ha sido usado para referirse a una población que puede ser sostenida con un recurso a un dado momento, además de su uso (como en el estudio actual) también, para referirse a las poblaciones que podrían ser sostenidas por plazo indeterminado.

La capacidad de soporte ha sido, históricamente, asociada con la ecuación logística, que describe la curva sigmoide (en forma de "S") del crecimiento poblacional. La ecuación logística fue derivada por Verhulst (1838) e independientemente por Pearl & Reed (1920), y fue intencionada, en ambos casos, para uso con poblaciones humanas. La "capacidad de soporte" de la ecuación logística establece el limite máximo de la curva de crecimiento, y es un valor instantáneo relacionado con la capacidad de la población para sobrevivir y reproducirse a determinados niveles de consumo de recursos y no con la sustentabilidad a lo largo plazo de aquellos niveles de abastecimiento de recursos. Discusiones de la ecuación logística, especialmente en el contexto de aplicación a poblaciones humanas, a menudo hacen la presunción errónea de que el valor de esta ecuación, para capacidad de soporte, sea sostenible (e.g. Hardesty, 1977: 195), en otros aspectos una revisión bastante útil de la capacidad de soporte humano). Aun como una medida instantánea, la ecuación logística tiene muchas presunciones limitadoras, tales como la ausencia de características de historia de vida, demoras en las reacciones a los cambios de densidad poblacional, efectos no-lineares y diferencias entre los miembros de una población (vea Wilbur, 1972; Wilson & Bossert, 1971). Estas y otras presunciones hacen que esta formulación sea inapropiada para poblaciones humanas, así como para las poblaciones de muchos de los organismos más simples, a las cuales la ecuación logística ha sido aplicada. Kingsland (1982) delineó los procesos sociales dentro de la comunidad científica que ayudan a entender el uso generalizado de esta ecuación a lo largo de las décadas

después de 1920, aun frente a indicaciones contrarias. A pesar de las limitaciones severas de la ecuación, el cálculo de la capacidad de soporte para poblaciones humanas por medio de la aplicación de técnicas de ajustamiento de curvas, utilizando datos demográficos históricos, aun persiste (e.g. Schacht, 1980).

Las fórmulas de agricultura itinerante representan un avance en relación a la ecuación logística para estudios de capacidad de soporte humano y, aunque también sean muchas sus limitaciones, estas fórmulas hacen una relación entre factores tales como los períodos de cultivo y de barbechado (descanso), y las medias de los rendimientos de los cultivos y de consumo de los productos, para poder calcular el número de agricultores itinerantes que podría ser sostenido en un área dada. Las fórmulas de agricultura itinerante han sido utilizadas, principalmente, para estudios de grupos tribales sostenidos por agricultura migratoria de largo ciclo. Feachem (1973) mostró ser equivalentes las fórmulas derivadas por Allan (1949, 1965), Conklin (1959), y Carneiro (1960). La equivalencia algebraica de las fórmulas semejantes a las derivadas por Gourou (1966: 45) y Fearnside (1972) también puede ser mostrada. Muchos de aquellos que aplicaron las fórmulas de agricultura itinerante en la práctica han sido criticados por Street (1969) por falta de atención a las presunciones del método. Las suposiciones incluyen la condición estática de la tecnología de agricultura, la asignación de la tierra y el consumo, así como también la falta de cualquier relación entre la intensidad de cultivo y las producciones de los cultivos, por ejemplo, debido al aumento de las pérdidas causadas por plagas y enfermedades. Street acusa, con razón, a muchos de los investigadores que intentaron estimaciones de capacidad de soporte, utilizando las fórmulas de agricultura itinerante, de haber asumido, sin querer, que los períodos de cultivo y de barbechado observados durante un trabajo de campo sean aquellos que puedan ser sostenidos por plazo indeterminado. El uso apropiado de estas fórmulas necesitaría de estimaciones independientes de estos parámetros, derivados a partir de estudios sobre los cambios en la calidad del suelo y otros factores, bajo a diferentes intensidades de uso prolongado.

El "concepto" de capacidad de soporte, en el sentido representado por las fórmulas de agricultura itinerante, ha sido atacado por Brush (1975) y Hayden (1975), y defendido por Glassow (1978). Brush (1975: 806) considera que "el principal punto flojo del concepto de capacidad de soporte es el hecho que la teoría de homeostasis, inherente en el concepto, no es ni probable ni refutable". La "teoría de homeostasis" aquí se refiere en particular a los ajustes de comportamiento de un grupo para mantener el equilibrio, que investigadores han afirmado ser causados por alteraciones en la densidad poblacional relativa a la capacidad de soporte. La cuestión clave es el uso que se hace de las estimaciones de capacidad de soporte, en lugar de la validez de las estimativas en sí. Cuando la capacidad de soporte es usada como instrumento explicativo para cambios constatados en patrones culturales, deben ser identificados mecanismos adecuados, para que haya un efecto de retroalimentación sobre la cultura,

tanto en el nivel de ajuste a corto plazo como en el nivel de cambios a largo plazo por evolución cultural, esto cuando una población se aproxima de la capacidad de soporte. Para una entrada en este debate, vea Brush (1976), Cowgill (1975), Vayda (1969, 1976) y Vayda & McCay (1975).

La finalidad del actual estudio de la capacidad de soporte en la Transamazónica es la de producir un indicador que pueda ser usado en la planificación poblacional y de desarrollo, al en vez de explicar cambios demográficos o tecnológicos.

Hayden (1975: 11) crea que "los problemas prácticos envueltos en la medida y utilización de la capacidad de soporte han demostrado que el concepto es deficiente en teoría, poco realístico en la implementación e imposible de medir". El propone "abandonar" la capacidad de soporte para sustituirla por una medida llamada el "razón de sobre-explotación de recursos". La medida de Hayden, correctamente, da énfasis a la variabilidad en el abastecimiento de alimentos y de otros recursos, una cosa que está faltando en las fórmulas para estimar la capacidad de soporte en agricultura itinerante. Hayden argumenta que la frecuencia, duración y la severidad de épocas carentes de recursos (períodos que exceden la capacidad de soporte instantánea) serán los factores más importantes que afectan la respuesta, si hubiera, de una población humana experimentando tales carencias.

La medida alternativa de Hayden, en la realidad, no es un sustituto para la capacidad de soporte: se fuese solucionada la ecuación de Hayden de sobre-explotación de recursos, por el termino que representa la densidad poblacional, y si el razón de sobre-explotación de recursos fuese fijada en un valor igual al de un límite máximo aceptable, el resultado obtenido sería un valor muy parecido a la capacidad de soporte, como es definida operacionalmente en el estudio actual de la Transamazónica, siempre que el criterio adicional de sustentabilidad fuera obedecido. Como en el caso de las críticas hechas por Brush (1975) a la capacidad de soporte, las principales reservas de Hayden también se centran en las declaraciones a veces hechas para estimaciones, con fórmulas de agricultura itinerante, como explicaciones de acontecimientos en la evolución de cultivos, en vez de los problemas de las fórmulas de capacidad de soporte en sí. El énfasis dado por Hayden sobre la variabilidad es apropiada, no solamente para las interpretaciones arqueológicas que él procura, como también para el propósito del actual estudio en desarrollar la capacidad de soporte como un instrumento de planificación.

Tanto Brush como Hayden se desaniman frente la dificultad de obtener estimaciones de los parámetros necesarios para calcular capacidad de soporte, aunque, como Glassow (1978) indica que esto no es una razón para abandonar el intento. La importancia potencial de la capacidad de soporte para formular políticas sostenibles de población y de desarrollo lleva a la necesidad de más esfuerzo, tanto en el desarrollo teórico como en la colecta de datos reales.

Bayliss-Smith (1980) hizo una contribución significativa en el uso de la capacidad de soporte, de una manera que pudiera predecir resultados utilizables por proyectistas. El método de Bayliss-Smith también permite la estimación de aquello que él denomina "capacidad de soporte percibida", que es una cantidad que se considera más relevante, para la explicación del comportamiento humano, que la capacidad de soporte basada en las condiciones que el medio ambiente tiene para dar sustento a un dado nivel durante un período indefinido. El enfoque de Bayliss-Smith es sobre la relación entre la intensificación agrícola, insumos de mano-de-obra y salidas de productos, siendo el paso crítico la construcción de un gráfico de la producción por una hora-hombre versus la producción por hectárea. La producción por hectárea es alta a niveles bajos de producción por hora-hombre, pero después de un punto crítico, cae a un nivel más bajo a medida que la producción por hora-hombre aumenta. La capacidad de soporte corresponde al punto en la curva donde la producción por hectárea comienza a caer subitamente con el aumento de la producción por hora-hombre. El método va más allá del cálculo de una única capacidad de soporte: produce una matriz de valores para el insumo de mano-de-obra por persona productiva, necesario para sostener una población, a una serie de densidades poblacionales por debajo de la capacidad de soporte y a una serie de niveles de consumo por encima del valor de "subsistencia" usada para definir la capacidad de soporte. Una matriz de este tipo tiene valor obvio para proyectistas que contemplan el efecto de diferentes densidades poblacionales sobre el consumo y el tiempo libre.

Bayliss-Smith (1980: 62) deja claro que su método da énfasis al tiempo libre y al excedente de producción, y deja fuera algunos factores, tales como, la variabilidad en las producciones de los cultivos y en las necesidades de mano-de-obra. Sus opciones parecen ser apropiadas para las islas Fiji, sitio del proyecto UNESCO del cual su trabajo forma parte. Diferencias significativas entre Fiji y la Transamazónica hace que otras opciones sean apropiadas para el actual estudio. La taioba (*Colocasia* spp.), que forma la base de la dieta de los agricultores en Fiji, se puede esperar que produzca rendimientos relativamente estables de un año para otro y de un agricultor para otro, como es el caso para la mayoría de los cultivos de tubérculos en las áreas tropicales libres de heladas. Variación en los rendimientos es una gran preocupación para los colonos de la Transamazónica, cuyo arroz de terreno elevado es plantado en rozas sujetas a quemadas y otros peligros. Además, el alto valor dado por los Fijianos al tiempo libre no es compartido por los agricultores pioneros en la Amazonía, fuera de los domingos y algunos pocos días de fiestas religiosas. La mayor parte de los colonos de la Transamazónica ponen mucho cuidado en dar siempre la apariencia de estar ocupados, y son rápidos en poner motes insultantes a cualquier uno de sus vecinos que no esté visiblemente ocupado. Portanto, el actual estudio de la Transamazónica ha dado mayor énfasis a variabilidad de las producciones de los cultivos, y a los muchos factores que afectan estas producciones.

En el actual estudio, un modelo llamado "KPROG2" simula el agro-ecosistema de los colonos, estimando la capacidad de soporte sostenible sobre diferentes hipótesis. La capacidad de soporte está definida, operacionalmente, en términos de un gradiente de probabilidad de fracaso del colono con el aumento de la densidad poblacional. Las probabilidades de fracasos son tomadas como índices sostenibles de fracaso durante un largo período de años, o sea, índices que no están sujetos a tendencias de cambios con el paso del tiempo. Los criterios culturales serían usados para determinar un "fracaso" (definido como una caída abajo de los niveles mínimos de consumo especificados para calorías, proteína total, proteína animal y dinero). La capacidad de soporte es la densidad poblacional en la cual este excede la probabilidad de fracaso máximo aceptable, definido culturalmente (Fig. 2).

Podría ser esperado el aumento de la probabilidad de fracaso del colono a medida que se eleva la densidad poblacional, dentro de un rango dado de altas densidades. A las densidades muy bajas, la probabilidad de fracaso también aumentaría, debido a la falta de infra-estructura y de los beneficios de intercambio existentes en una sociedad más amplia. La capacidad de soporte está tomada como siendo el valor de densidad poblacional correspondiente al valor máximo aceptable en la parte del perfil de probabilidad de fracaso cuya pendiente es positiva.

Una de las características más notadas de la agricultura en la Transamazónica, como también en muchas otras zonas tropicales, es la variabilidad acentuada en la producción entre años y entre agricultores. El hecho de las metodologías existentes de estimativas de capacidad de soporte enfocar sobre agricultores de condiciones "medias" es visto como una gran limitación sobre la utilidad de estos métodos. El objetivo principal del actual estudio ha sido la investigación de las maneras en que la variabilidad afecta la capacidad de soporte. La relación hipotética, apresentada en la Figura 3, indica la expectativa de que dentro de la faja que incluye la capacidad de soporte, la probabilidad de fracaso del colono será elevada por aumento en la variabilidad.

Además de fortalecer nuestro entendimiento de la base teórica de la estimativa de la capacidad de soporte, por ejemplo a través de la evaluación de los efectos de variabilidad en rendimientos de cosechas y otros factores, el objetivo final de tales esfuerzos de modelaje es de producir estimativas de capacidad de soporte suficientemente seguras para uso de proyectisitas gubernamentales. Las estimativas de la capacidad de soporte son importantes siendo que la degradación ambiental, resultante del ultrapasaje de la capacidad de soporte, puerá ser evitada.

El estudio actual pretende colocar el asunto de capacidad de soporte solamente en el contexto de los tipos de sistemas agrícolas actualmente en uso o siendo contemplados para la área de colonización de la carretera Transamazónica. Dentro del contexto de estos tipos agrícolas, son incluidas margenes para mudanzas tecnológicas,

no siendo, sin embargo, consideradas formas de tecnología completamente diferentes, tales como centros urbanos apoyados por tecnología industrial.

ESTRUCTURA DEL MODELO

SECTORES DEL MODELO

El programa KPROG2 puede, a primera vista, parecer un vasto laberinto de 63 subprogramas repartiendo informaciones a través de 62 regiones COMMON rotuladas diferentemente. En realidad, la estructura causal esencial del programa puede ser visualizada bien simplemente a partir de un arreglo de sectores dentro de los cuales varias partes pueden ser agrupadas. El agro-ecosistema actúa como un filtro mapeando informaciones sobre recursos iniciales en términos de capacidad de soporte. Las informaciones de entrada del sistema, en la forma de variable tiempo, calidad del suelo, tipos de colono, etc., entran en cálculos, que posteriormente resultan en valores para la capacidad de soporte. El agro-ecosistema responde a las condiciones iniciales dentro del contexto de los procesos ecológicos y sociales incluidos en el modelo; muchos de estos procesos actúan como amortecedores que protegen la población de colonos contra los efectos de la variabilidad en los parámetros de entrada.

El sector distribución de recursos o del uso de la tierra modela decisiones relacionadas a la cantidad de área destinada a cada cultura o combinación de culturas (Fearnside, 1982a). Estas decisiones naturalmente afectan períodos de barbechado de la tierra y otros ítems relacionados con la fertilidad del suelo. El sector de producción agrícola calcula cuanto de cada cultura es cogido basado en áreas plantadas, fertilidad del suelo y muchos otros factores que influyen el rendimiento. La producción resultante para el lote es entonces alocada entre varios usos posibles en el sector de distribución de producto, incluyendo el consumo y el invertimiento en el desarrollo del lote. Las cantidades de productos consumidos contribuyen en la manutención de la población cuando el sector poblacional está funcionando de modo dinámico, esto es, el crecimiento poblacional es sustentado por el consumo adecuado y niveles menores de consumo llevan a tasas de mortalidad mayores. La población, por su vez, influencia la distribución del uso de la tierra; mayores familias tienen tanto la capacidad para la deforestación aumentada por causa de la mayor disponibilidad de mano-de-obra familiar, como también una demanda más alta de producción de culturas de subsistencia. Las informaciones son tomadas de varios puntos, en este proceso de cálculo, para computar la capacidad de soporte. La capacidad de soporte es solamente algo calculado a partir de resultados de salida, no una variable interna del programa entrando explícitamente en cualquier cálculo del agro-ecosistema.

En el sector de producción agrícola, las condiciones meteorológicas afectan la calidad del suelo, tanto a través de su influencia en la calidad de la quemada, como en la erosión. La calidad del suelo, por su vez, es un de los varios factores que afectan el

rendimiento de los cultivos. Los rendimientos de los pedazos individuales de tierra, cuando multiplicados por las áreas de los pedazos y hecho la sumatoria de todos los pedazos en la parcela, nos dan la información de la producción de la parcela pasado al sector de asignación de producto.

Algunas de las principales relaciones causales son resumidas en la Figura 4. Los mismos factores pueden ser vistos en la representación más completa en la Figura 5. Las señales positivas o negativas indican la naturaleza de muchos de los efectos, sin embargo no todas las relaciones son de naturaleza monótonica ni continua. Algunas variables categóricas y efectos probabilísticos también son incluidos (líneas punteadas).

SECUENCIA DE LOS CALCULOS

En la ejecución del programa, los subprogramas son agrupados por el tamaño de la unidad a la cual se aplica, en vez de que sean agrupados por el sector del programa definido por las principales relaciones causales. Las alcas principales del programa (Fig. 6) agrupan los cálculos en operaciones hechas para cada pedazo de tierra, aquellas hechas para cada parcela y aquellas hechas una vez por año para la comunidad entera. Los conjuntos adicionales de alcas semejantes dentro de las subrutinas de generación de las condiciones iniciales y dentro del sector de asignación del uso de la tierra no son mostradas aquí. Las estadísticas referentes al total del área simulada son computadas para varias medidas, después de cada año de simulación. Estas medidas son impresas como salida, permitiendo el cálculo de la capacidad de soporte basado en los padrones establecidos para los diversos criterios, y incluyen, tanto informaciones sobre consumo (tales como calorías, proteína total, proteína animal y padrón de vida en términos de dinero por capita), como también medidas de calidad ambiental (tales como la proporción de área desforestada y las medias referente al área total para niveles de nutrientes en el suelo para tierras sobre diferentes usos).

Las operaciones en andamiaje en cada uno de los principales niveles mostrados en la Figura 6, están agrupadas por el sector de programa en la Tabla 1.

CARACTERISTICAS DEL MODELO KPROG2, DE CAPACIDAD DE SOPORTE

El modelo KPROG2 fue desarrollado para disminuir la falta de confiabilidad, en la estimativa de capacidad de soporte, debido a las suposiciones restrictivas existentes en otros métodos (vea Fearnside, 1983a). Como características del modelo KPROG2 pueden ser delineadas las siguientes:

FACTORES LIMITANTES MULTIPLOS

La capacidad para hacer determinaciones de la capacidad de soporte, basadas en factores limitantes múltiples, está incluida en el programa. Las probabilidades de fracasos del colono son computadas separadamente en base a calorías, proteína total, proteína animal, dinero por capita, dinero por familia, y proporción de área desforestada. La probabilidad combinada de fracaso basada en las medidas por capita es también un resultado. Las probabilidades de fracaso son las proporciones de los años-colono durante los cuales los padrones mínimos de consumo no son alcanzados.

FACTORES DINAMICOS

Los ajustes para representar mudanza tecnológica son hechos de dos maneras: 1) el mejoramiento gradual del rendimiento base de diferentes cultivos, a partir de mejores variedades de semillas, durante intervalos específicos de años y 2) mudanzas de padrones de comportamiento en el uso de la tierra, por ejemplo un cambio de cultivos anuales para estrategias de ganadería o de cultivos perenes, basados en substituciones en la población de los colonos.

Un sector poblacional flexivel está incluido. Un punto de decisión permite que las operaciones sean hechas con una población "congelada" con el tamaño de cada familia fijo a un valor medio, para que tamaños diferentes de las parcelas puedan ser simulados, para computar probabilidades sustentables de fracaso del colono a densidades poblacionales específicas. La capacidad de soporte es, entonces, estimada a través de gráficos resultantes de varias ejecuciones semejantes a la curva hipotética de la Figura 2. Alternativamente, el sector poblacional dinámico puede ser activado, donde los procesos demográficos prosiguen, para producir mudanzas poblacionales.

MUDANZAS EN LA CALIDAD DEL SUELO

La calidad variable del suelo inicial es producida a partir de una matriz de Markov, que representa las probabilidades de transición entre niveles de varios nutrientes, debido a deslocamientos entre parcelas o entre pedazos de tierra dentro de una parcela (Fearnside, 1981, 1984b). Las correlaciones realmente existentes entre los nutrientes en el suelo de la floresta virgen son mantenidas en los valores simulados de calidad de suelo.

Los calidades de quemada son variables. Quemadas buenas o malas son predecidas por fechas de corte y de quema (Fearnside, 1986b), junto con padrones meteorológicos que son generados para reproducir las distribuciones observadas para tres tipos de variabilidad: de día-en-día, entre años secos y lluviosos, y épocas lluviosas adelantadas y tardías (Fearnside, 1982b, 1982c).

La erosión es predecida para tierra en diferentes usos, a través de regresiones basadas en la precipitación pluviométrica y en la declividad (Fearnside, 1982a). El

efecto de la erosión en la calidad del suelo está incluido, en contraste con muchos estudios que hacen la presunción tácita de que la degradación del suelo no ocurre.

El tiempo de descanso (barbechado) de la tierra es libre y puede variar de acuerdo con los padrones observados entre colonos reales (Fearnside, 1980b, 1984d), en vez de ser restringido artificialmente al período correspondiente a la total recuperación de la calidad del suelo. Pueden ser hechos, también, ejecuciones con períodos de descanso de la tierra de diferentes duraciones.

Las mudanzas del suelo son computadas y guardadas separadamente para cada pedazo de tierra, creando un mosaico de pedazos en diferentes estados de degradación y regeneración. Los efectos de la quema sobre el suelo son computados separadamente para tres tipos de quemadas: floresta virgen, vegetación secundaria y hierbas dañinas. Los efectos de las quemadas de floresta virgen o de crecimiento secundario dependen de la calidad de la quema. Son también incluidos los días gastados en diferentes usos de la tierra y los niveles de nutrientes del suelo. Las mudanzas en el suelo sobre pastos son computadas separadamente (Fearnside, 1980c). Los insumos fertilizantes y calcáreo son incluidos para cacao y pimienta-del-reino, con los cálculos apropiados de probabilidades de fertilización, dosaje y ajustes de dinero.

PRODUCCION AGRICOLA

La producción de los cultivos son predictas a través de previsiones que reproducen la variabilidad resultante de diversas causas. La producción de los cultivos son predictas, primero, a partir de regresiones de rendimiento con nutrientes en el suelo y otros factores, donde el número de observaciones lo permita, para arroz de terreno elevado, maíz, frijoles (*Phaseolus vulgaris*), frijoles-de-cuerda (*Vigna sinensis*), yuca brava, yuca dulce, cacao, pimienta del-reino y pasto (Fearnside, 1979a,b, 1980c, 1986a). La densidad de plantío y la densidad de cultivos consorciados son generadas a partir de frecuencias observadas y incluidas como variables independientes en modelos de regresión para arroz, maíz y frijoles (*Phaseolus vulgaris*). Efectos no incluidos directamente en los modelos de regresión (tales como las enfermedades de los cultivos, acamamiento, plagas de insectos y vertebrados, bajo poder germinativo de las semillas y aquellos efectos de variedad de cultivar no incluidos en las regresiones en sí) son incorporados a las regresiones a través de multiplicadores generados para esta finalidad, que son expresos como proporciones de la producción y predictas por las regresiones. La variabilidad restante no explicada es generada a partir del desvío padrón de la estimativa y de la regresión. Primero las producciones son calculadas como proporciones de un rendimiento base, representando el rendimiento para el cultivo obtenido en ensayos en la estación agrícola experimental en la área. Ajustes para representar los estragos de productos almacenados son incluidos después de la conclusión del cálculo de las producciones simuladas.

Las enfermedades incluidas en el modelo son, dos para el cultivo de cacao, una para pimienta-del-reino y una para el frijoles (Phaseolus vulgaris). La epidemiología de las enfermedades es reproducida para representar, tan realísticamente cuanto posible, el padrón de diseminación a través de una área tal como la carretera Transamazónica. Las enfermedades de cultivos han demostrado repetidamente su potencial de devastar safras, inclusive estas, en grandes áreas.

Las fuentes de proteínas de origen animal son modeladas con cuidado especial. La carne obtenida de la caza no es presumida de ser colecta de manera sostenible, pero es colectada de acuerdo con el censo de caza abatida por los colonos de status "cazador" o "no cazador", basado en las frecuencias existentes de estos dos tipos culturales distintos (basado en datos de Smith, 1976). El excedente de carne de caza, se hubiera disponible, es vendido a otras parcelas dentro de la comunidad simulada. La proteína animal es también obtenida de gallinas, que son alimentadas con maíz. El deficit no suprido por la producción de la parcela y por la compra de caza dentro de la comunidad son compenzados por compra de carne o pescado enlatados o secos, de fuera, se hubiera el dinero suficiente disponible.

La alocaación en el uso de la tierra incluye 20 posibles combinaciones de cultivos, y mas cuatro usos adicionales de la tierra sin safras (Fearnside, 1982a).

COMPORTAMIENTO ECONOMICO DEL COLONO

Son incluidos tipos variables de comportamiento del colono, evitando la suposición de idéntico comportamiento en un padrón "medio". Los colonos son clasificados en cuatro tipos, derivados de una tipología propuesta por Moran (1976, 1981).(2) Los valores iniciales, que son criados de acuerdo con el tipo de colono, incluyen información demográfica, capital inicial y bienes durables. Una selección entre cuatro posibles estrategias de desarrollo de parcelas y cuatro padrones de trabajo externo son también basados en las probabilidades específicas de cada tipo del colono.

La variedad de estrategias da gran flexibilidad en la representación del comportamiento de la población colonizadora. Cuando ha substitución de colonos en la población, naturalmente, opciones diferentes serán asumidas, entre las posibles combinaciones de estrategias, con relación a la población inicial. El tipo de colono también influencia en la alocaación del producto, tanto entre investimiento y consumo, cuanto entre compras de bienes durables y no durables.

La disponibilidad de mano-de-obra es simulada para que la cantidad de tierra, que puería ser derrumbada y cultivada con cultivos diferentes sea limitada, al en vez de la mano-de-obra ser presumida como suficiente para la derrumbada de toda el área necesaria. Suplementos a la mano-de-obra familiar a través de trabajadores pagados

están también incluidos, con restricciones apropiadas en las cantidades de capital alocado, por cada familia, para inversión en el desarrollo de la parcela. La disponibilidad de mano-de-obra es modelada para reflejar los efectos de varias enfermedades humanas. Las probabilidades de enfermedades son calculadas a partir de los datos de Smith (1976). La pequeña pero importante probabilidad de que los miembros-claves de la familia se queden enfermos en la época de derrumbada, plantío o colecta no es inusual como un tipo de "golpe de misericordia" para la producción agrícola.

Los intercambios con la economía mercantil son modelados con detalle. Los precios de compra y venta de productos varían de un año para otro: los precios son generados en el inicio de cada año simulado, utilizando las medias y desvíos padrones establecidos como informaciones iniciales. Los gastos en dinero con implantación y mantenimiento de cultivos son incluidos en el sector de alocación de recursos. El suministro de semillas del gobierno está también incluido cuando es apropiado. Los detalles del sistema de financiamiento, incluyendo juros, plazos de pagamiento, probabilidades de financiamientos y criterios de elegibilidad son especificados para doce tipos de empréstitos (Fearnside, 1982a). La provisión de financiamiento, en el caso de la carretera Transamazónica representa un pesado subsidio gubernamental del desarrollo en la área. Del punto de vista del colono individual, entretanto, la burocracia y los costos escondidos del sistema de crédito pueden representar un encargo que, frecuentemente, hace de la agricultura un negocio de rentabilidad negativa (Bunker, 1980; Wood & Schmink, 1983). El efecto de la inflación está incluido con respecto al pago de deudas. La disponibilidad de transporte para llevar las cosechas al mercado también está incluida, ya que, para muchos colonos cuyas parcelas eran localizadas en los caminos vecinales, este era un gran problema durante los primeros años de colonización. Son hechos ajustes para mejoras de condiciones de transporte, con el decorrer del tiempo.

Son incluidas, también, fuentes de renta no agrícolas. Renta en dinero, de trabajo externo, frecuentemente es un factor crítico para los colonos, y cuatro diferentes tipos de trabajo están modelados: trabajo braçal de remuneración diaria, emprendimientos particulares, empleos gubernamentales o profesionales y conyuges o hijos que trabajan. Los colonos simulados pueden invertir en pequeños emprendimientos tales como pulperías o vehículos tipo camioneta.

En varios puntos del modelo están incorporados tampones contra el fracaso del colono. La alocación del uso de la tierra es hecha con un margen de seguridad para la variabilidad de rendimiento para cada cultivo con su probabilidad implícita de fracaso. El margen de seguridad es basado en el estadístico "z" de riesgo máximo aceptable de fracaso de los colonos (una de las informaciones iniciales, o parámetro de entrada) y la variabilidad esperada en la producción del cultivo. Una función de aprendizaje permite que los colonos simulados basen sus decisiones en la experiencia acumulada con

rendimiento de cultivos en la área simulada, incluyendo tanto la media como la variancia y tales producciones. La alocaación del colono a los cultivos de subsistencia sigue así las tendencias pasadas en los rendimientos de los cultivos, dentro de los límites disponibles de mano-de-obra, capital y semillas, proveendo una protección contra variabilidad en las producciones. Cuando producciones insuficientes son obtenidas para determinados cultivos, el colono simulado puede comprar las cantidades de subsistencia deseadas del producto con dinero ganado a través de la venta de cultivos comerciales o de otras fuentes, tales como, dinero ganado en trabajo externo, venta de bienes durables o de empréstitos privados, esto es, se el colono tiene suerte suficiente para conseguir uno. La diversidad de los cultivos plantados también provee alguna medida de protección contra la posibilidad de fracaso de la safra debido a un rendimiento pequeño para cualquier cultivo específico.

El resumen anterior de las características del KPROG2 está lejos de ser completo. El programa y su documentación son presentados en otra publicación (Fearnside, 1979c).

Las sub-rutinas del sector agrícola del KPROG2 están también incorporadas en programa menor, son pequeñas, pero necesarias modificaciones, para producir simulaciones de rendimientos de los cultivos sin la complejidad adicional necesaria para traducir tales rendimientos en valores de la capacidad de soporte humano. La simulación agrícola, AGRISIM, requiere que tanto las decisiones del uso de la tierra como los períodos de cultivo y de barbechado en el caso de cultivos anuales, sean introducidas en el terminal cuando cada ejecución es hecha.

METODOS DE MODELAJE

La simulación KPROG2 es escrita interamente en FORTRAN-IV nivel-G, utilizando el Michigan Terminal System (MTS) como sistema operacional (Universidad de Michigan Computing Center, 1976). Las simulaciones fueran ejecutadas en el computador Amdahl 470V/6 de la Universidad de Michigan, cuyo software es compatible con el del IBM 370.

Varias ejecuciones fueran hechas para testar la susceptibilidad de los resultados de las simulaciones para mudanzas en los parámetros de entrada, no obstante, una serie completa de testes de susceptibilidad no había sido hecha. El "tamaño del pedazo" (áreas pequeñas de tierra simulada) usado para guardar informaciones sobre suelo y uso de la tierra, por ejemplo, fue allada como habiendo repercusiones en el sector de alocaación del uso de la tierra, a veces haciendo la diferencia entre "suceso" y "fracaso". Después de alguna experimentación, un tamaño de pedazo de 0.25 há fue seleccionado como un compromiso razonable entre la economía de tiempo de computador y el comportamiento imparcial del modelo para todas las ejecuciones a ser usadas en la estimativa de capacidad de soporte.(3) En el caso de parámetros tales

como el tamaño de pedazo, que son aspectos puramente arbitrarios en la construcción del modelo en vez de representaciones de datos sobre la realidad, los ajustes han sido hechos para evitar comportamiento irreal, que sería un artefacto de los modelos de computador. Los parámetros para factores que representan la realidad no fueron burlados para alterar resultados de la simulación, en contraste con muchos de los modelos existentes de sistemas humanos.

Uno de los puntos de decisión del KPROG2, determinado interativamente al inicio de cada ejecución, selecciona entre operaciones estocásticas o determinísticas. Ejecuciones determinísticas provienen de un padrón contra lo cual los resultados estocásticos pueden ser comparados. Las ejecuciones estocásticas en sí son también completamente reproducibles por medio de la re-utilización del valor inicial sirviendo como una "semilla" por generación de un número pseudo-aleatorio.

FUENTES DE DATOS

La mayor parte de los datos usados como parámetros de entrada, en las ejecuciones presentadas aquí, fueron derivados o a partir de observaciones o de entrevistas, en la área de estudio intensivo. Los datos sobre los suelos fueron derivados de una serie de 903 muestras superficiales (0-20 cm de profundidad), y de 151 perfiles (0-120 cm de profundidad). Los datos sobre suelos dan informaciones sobre las propiedades de los suelos antes de derrumbada, las mudanzas que ocurren sobre diferentes tratamientos, y las relaciones de la calidad del suelo con producciones en los conucos de la mayoría de los cultivos. Utilizando encuestas referentes al local de cada muestra tirada en los conucos de los colonos, fueron anotados datos sobre problemas agrícolas, historia del local, y producción. Una sucesión de versiones de una otra encuesta, aplicada en 131 parcelas, fue utilizada para conseguir informaciones a nivel de la parcela, sobre la composición y antecedentes de las familias de los colonos, el uso de mano-de-obra paga o de otras fuentes suplementares, recursos financieros iniciales o otros desarrollos en la parcela financiados por el banco, salud y otros factores afectando la disponibilidad de mano-de-obra familiar, las necesidades de mano-de-obra para tareas agrícolas, y la historia de decisiones sobre el derrumbada y sobre el uso de la tierra. Preguntas detalladas sobre la alocación del producto, en las primeras versiones de la encuesta fueron sacrificadas, en el decorrer del estudio, para aumentar las informaciones sobre prácticas de uso de la tierra. Anotaciones de campo sobre conversaciones informales con los colonos proveieron informaciones sobre muchos de los ítems que no pudieron ser incluidos en las encuestas formales. Algunas de las informaciones referentes a la frecuencia y valores de financiamientos fueron retirados de archivos gubernamentales. Datos meteorológicos también fueron obtenidos de fuentes oficiales. Las informaciones de estas fuentes no fueron usadas en otras partes del estudio, siendo que los datos de mis propias entrevistas y observaciones eran suficientes. Las partes del conjunto de datos provenientes por mi trabajo de campo incluyeron: suelos, quemadas, erosión, producciones para arroz,

maíz, frejol (Phaseolus), frijoles-de-cuerda (Vigna), yuca brava y yuca dulce. Datos de producciones para cacao, pimienta-del-reino, pasto y caza, así como muchos datos del sector poblacional, dependieron principalmente de la literatura.

RESULTADOS DE LA SIMULACION

EJECUCIONES PADRON

Informaciones Iniciales para Ejecuciones Padrón

Varias ejecuciones fueran hechas de ambos los programas KPROG2 y el menor AGRISIM. Las ejecuciones fueran diseñadas para testar los efectos de diferentes suposiciones y también para hacer estimativas de la capacidad de soporte. La estrategia para hacer la estimativa de la capacidad de soporte es de ejecutar el KPROG2 con el sector poblacional fijo (en el caso del conjunto de parámetros usado, el tamaño de familia para cada parcela es siempre de seis personas). Las ejecuciones son hechas con diferentes tamaños de parcelas para conseguir una variación de densidad poblacional sin distorcionar las alocaiones del uso de la tierra que depende de la composición realistica de familias para cálculos de mano-de-obra familiar. EL abordaje alternativo también es posible: variar el tamaño de familia encunto los tamaños de las parcelas permanecen fijos. Con el sector poblacional dinámico activado, se puede ver como las tendencias de la población son afectadas por mudanzas internas debido a nacimientos y muertes y por mudanzas en la población de colonos como inmigración y emigración, tanto de unidades familiares como de individuales.

Decidí presentar los varios aspectos del comportamiento del modelo KPROG2 discutiendo una selección de resultados de una ejecución apenas. Los resultados combinados de cinco ejecuciones estocásticas y de ocho ejecuciones determinísticas serán entonces sumariados en forma de probabilidades de fracaso del colono, de la manera necesaria para estimar la capacidad de soporte de acuerdo con la estrategia delineada encima. La ejecución a ser presentada es una ejecución estocástica con el sector poblacional congelado en seis personas por familia y un tamaño de parcela de 25 há, correspondiendo así a una densidad poblacional de 24 personas/km². Siendo que la ejecución aquí descrita es estocástica, el resultado representa solamente uno de los posibles resultados para una área con esta densidad poblacional. Otros resultados pueden ser creados por ejecuciones del programa con valores del número inicial de "semilla" (para generación de números pseudo-aleatórios) diferentes del valor usado en este ejemplo (1113333).

La ejecución fue hecha usando una comunidad de diez parcelas con 100 pedazos por parcela. Por "pedazos" son designadas las pequeñas áreas hipotéticas de tierra en que las parcelas simuladas fueran divididas, correspondiendo aquí a 0.25 há.

No fue hecha restricción en los tipos de familias de colonos ocupando las diez parcelas simuladas.

Los períodos de descanso (barbechado) de la tierra fueron también irrestrictos, con crecimiento secundario de la vegetación en diferentes clases de edad, siendo rozado de acuerdo con las frecuencias observadas entre colonos reales poseedores de purmas en cada clase. En esta ejecución no fueran presumidas mudanzas en los rendimientos-base de las cultivos a través de mejoría en las variedades de semillas, a pesar del programa ter tal capacidad.

El período de ejecución fue de 25 años. Para los pequeños tamaños de parcelas aquí simuladas, el comportamiento del modelo estabiliza bien dentro de este período y ejecuciones mas largas no producirían resultados substancialmente diferentes con el conjunto actual de datos. Ejecuciones mas largas serían deseables del punto de vista de desencorajar el horizonte de corto plazo que caracteriza muchos planeamientos de desarrollo por el mundo, inclusive en el Brasil.

Salida de Ejecuciones Padrón

El lector deve ser avisado que ninguno de los valores o fechas mostrados en la salida del programa representa proyecciones o predicciones para años especificos. La escala de tiempo mostrada en los gráficos es tencionada solamente como guia para orientar el lector con respecto a la duración de los horizontes de tiempo de las ejecuciones.

La salida del KPROG2 y las rotinas asociadas permiten una rápida visualización del uso de la tierra, de rendimientos de los cultivos y de los niveles de nutrientes en el suelo. Estos factores sirven como la base que determina el consumo por capita y otras informaciones usadas directamente para inferir sobre la capacidad de soporte. Las proporciones de tierra alocadas para arroz consorciado con maíz, maíz soltero, frijoles (Phaseolus), frijoles-de-cuerda (Vigna), yuca brava, yuca dulce, cacao, pimienta-del-reino y crecimiento secundario están impresos en gráficos. Los gráficos de las medidas de rendimiento por hectárea referentes al total del área son también hechos para cada combinación de cultivos, y aun son hechos los gráficos de las medias de los niveles de pH, fósforo, nitrógeno, carbono y iones de aluminio en el suelo para conucos en dos situaciones: (1) desnudas (menos de 60 días sin cultivo) o plantados con cultivos anuales, y (2) separadamente para campos con otros tipos de usos de tierra. Estos resultados intermediarios son demasiados voluminosos para que sean aquí incluidos, pero pueden ser vistos en otra publicación (Fearnside, 1978).

El conjunto de figuras que se siguen presenta un exemplo de las medidas de consumo usadas para el cálculo de la capacidad de soporte humano. Medias referentes al área como un todo para el consumo de calorías por capita de colonos,

simulados en cada año (Fig. 7), indican que el colono medio es muy bien alimentado en lo que dice respecto a calorías. El nivel alto de consumo de calorías no es una sorpresa, dada la disponibilidad de fuentes de calorías de la yuca y otros cultivos de tubérculos.

A pesar de las altas medias para la población como un todo, las parcelas individuales pueden fácilmente caer abajo del mínimo de 2500 calorías/persona/día, especificado en los parámetros de entrada (Fig. 8). La salida del programa incluye gráficos de medias semejantes, referentes a la área como un todo y de proporciones de colonos fracasando basado en criterios para proteína total, proteína animal y padrón de vida expresado en dinero por familia y por capita (Fearnside, 1978). Los colonos simulados están consiguiendo grandes cantidades de proteína total, y consecuentemente bajas tasas de fracaso basado en este criterio, por razones relacionadas a las prioridades de alocación del producto usadas en el modelo. Las cantidades de proteína total consumida por los colonos simulados son mayores que aquellas consumidas por los colonos reales de la carretera Transamazónica, a pesar del total del consumo real de proteína ser alto en comparación con muchas áreas en desarrollo.

El consumo de proteína animal es mucho más bajo en relación al de proteína total y es más representativo de la situación real en la carretera Transamazónica, a pesar de esta ser optimista por razón de altas prioridades colocadas en proteína animal en la alocación de producto y por razón de mudanzas de suelo y super-dependencia de los rendimientos culturales en el pH. El padrón usado para proteína total fue 38 g/persona/día, y para proteína animal fue 25 g/persona/día.(4) El criterio usado para el padrón expreso en dinero por capita fue Cr75\$54.40/persona/mes,(5) o sea, un sexto del dinero por familia correspondiente a un salario mínimo por mes.

La posibilidad de incluir padrones de calidad ambiental en adición a los criterios de consumo, es considerado como un aspecto particularmente útil de estos modelos. Los colonos simulados desmontan rápidamente todo el área de sus parcelas de 25 ha en esta ejecución. El máximo de 50%, decretado por el gobierno, es ultrapasado por todos los colonos simulados en pocos años.

La importancia de la variabilidad en los niveles de producción y consumo entre parcelas es indicada por resultados de varias ejecuciones estocásticas (Fig. 9). Aquí, proporciones de fracasos de los colonos, referentes a años individuales, son mostrados en gráficos versus medias, referentes al área como un todo para los mismos años. Si la producción del área fuese distribuida uniformemente, entre todos los colonos simulados, la probabilidad de fracaso sería 0.0 para valores abajo del padrón mínimo usado, y 1.0 para valores superiores a este punto. Los resultados desvían de este padrón, con una proporción significativa de los colonos fracasando a valores del consumo medio referentes al área como un todo, bien arriba de los niveles mínimos.

Las calorías son aquí usadas como un ejemplo; padrones similares fueron encontrados para proteína total, proteína animal, dinero por capita y salarios mínimos por familia (Fearnside, 1978).

Las probabilidades de fracaso calculadas en varias ejecuciones, hechas con el sector poblacional congelado a diferentes densidades, es necesario para estimar la capacidad de soporte, como definida operacionalmente en terminos de un gradiente de probabilidades de fracaso del colono. Las probabilidades sostenibles de fracaso del colono han sido calculadas como la proporción del número total de años-colono durante los últimos diez años de estas simulaciones de 25 años, en las cuales fracasos ocurrieron para cada criterio. Solamente los últimos diez años fueron usados, siendo que el comportamiento del modelo deve ser dejado a estabilizar antes que la tasa de fracaso sea calculada. Estas probabilidades de fracaso versus densidad poblacional son representadas todas en gráficos para ejecuciones estocásticas y determinísticas para calorías, proteína total, proteína animal y dinero por capita (Fig. 10). Varias ejecuciones serían necesarias, a cada densidad poblacional, para producir resultados que reflejan adecuadamente el efecto de variaciones en los rendimientos de los cultivos y en otros factores. Tales ejecuciones aun no fueron realizadas.

En el caso de calorías y proteína total, los resultados de las ejecuciones estocásticas muestran probabilidades más altas de fracaso del colono, que las ejecuciones determinísticas, a través de toda la faja de densidades testadas. Esto es debido a las probabilidades de fracaso con respecto a estos dos criterios en ejecuciones determinísticas, ser cero en toda esta faja de densidades. Frente al hecho de que estos dos criterios son los más facilmente satisfechos a través de la producción de la parcela, no es sorprendente que las probabilidades de fracaso correspondientes sean más bajas que para proteína animal y dinero. Las curvas estocásticas son más altas, siendo que algunos fracasos ocurren mismo en criterios más facilmente satisfechos cuando producciones por hectárea varían de una manera más realistica, representada por las ejecuciones estocásticas. Un resultado diferente es obtenido para la mayoría de las densidades en los casos de proteína animal y dinero por capita. Aquí las tasas de fracaso para las ejecuciones determinísticas son mucho más altas que para calorías o proteína total. La obtención de proteína animal en la parcela, a través de la caza o de criación de gallinas, que son alimentadas con maíz y con forajes disponibles en el patio del colono, es normalmente insuficiente. Por lo tanto, suplementos comprados con dinero son necesarios. Cuando cosechas pobres resultan en cantidades de dinero restrictas, el colono no puede llenar las necesidades de proteína animal comendo su safra de tuberculos o de otros substitutos facilmente disponibles. En densidades poblacionales arriba de 40 personas/km², la tasa de fracaso anual, en ejecuciones determinísticas, es igual a 1.0. Cuando la variabilidad en producciones por hectárea es introducida, en ejecuciones estocásticas, buenas cosechas son obtenidas por algunos colonos en por lo menos algunos de los años simulados. El resultado es una tasa reducida de fracaso en estos casos.

Desvíos de los Resultados Esperados

Es aparente que las curvas mostradas en la Figura 10 no demuestren el aumento continuo en la probabilidad de fracaso del colono, a medida que la densidad crece, como anticipada originalmente (Fig. 2). Varias razones existen para las diferencias. En el caso de los resultados para proteína animal y dinero por capita en ejecuciones determinísticas, irregularidad en las probabilidades de fracaso resulta en una depresión de estas en el medio de la faja de densidades poblacionales testadas. La depresión ocurre debido a las altas probabilidades de fracaso en los extremos bajo y alto de densidad. A densidades muy altas, la razón para fracaso es la falta de tierra suficiente para producir las cantidades requeridas de cultivos. La depresión es atribuible a la sincronización del período de descanso (barbechado) en ejecuciones donde el tamaño de las parcelas hace con que el colono simulado sea capaz de desmontar una fracción desproporcionalmente grande en su parcela en el primer año. La gran área desmontada en el primer año se vuelve, entonces, no cultivable al mismo tiempo debido a la competencia de hierbas dañinas. Más tarde esta área torna-se disponible nuevamente, también a uno solo tiempo, para el rozado y el plantío. El colono simulado fallará durante los períodos cuando un gran parte de pedazos de tierra, originalmente derrumbados en el primer año, no está disponible para el plantío, pero él aún puede tener suceso en todos los padrones de consumo en aquellos años que esta parte de pedazos está disponible. Este padrón puede ser un artefacto del procedimiento de alocaación de tierra usado en la simulación, ya que los colonos reales puede que no sean tan imprevidentes en desmontar en el primer año una fracción tan grande del área total disponible. No hay evidencias en el presente estudio que indiquen que cualquier planificación anticipada suceda en relación al tiempo de descanso entre colonos reales, a pesar de esta posibilidad no poder ser descartada, frente al hecho de los colonos en la área en estudio intensivo no están operando sobre la restricción de parcelas de pequeño tamaño, que se aplica a los colonos simulados, en ejecuciones con densidades poblacionales altas. Por causa de la razón un tanto artificial para la depresión de las probabilidades de fracaso, en las densidades intermediarias, son consideradas más realistas las probabilidades muy altas de fracaso observadas en las densidades poblacionales más bajas. En las densidades bajas, los colonos simulados tienen suficiente tierra virgen disponible para reducir el impacto de cualquier sincronización en los períodos de descanso.

En ejecuciones estocásticas, también puede ser vista alguna variación entre las probabilidades de fracaso que corresponden a diferentes densidades. Una parte de la variación, indudablemente, es debida a diferencias entre los colonos simulados y entre los años: el resultado esperado, donde las decisiones son tomadas con base en las distribuciones observadas de probabilidades, en vez de seguir cadenas fijas de decisiones. Si un conjunto diferente de ejecuciones estocásticas hubiesen sido hechas con las mismas densidades poblacionales, valores un tanto diferentes podrían haber

sido encontrados para las probabilidades de fracaso. En ejecuciones estocásticas, cada punto mostrado (Fig. 10), corresponde a la proporción de fracasos a lo largo de diez años simulados en diez colonos, o 100 años-colono. Tamaños de muestras mucho mayores reducirían la variabilidad en estos puntos. Una parte del desvío en relación a los esperados cambios monotónicamente crecientes de fracaso del colono (después la población haber excedido el punto donde los efectos de baja densidad aumentan las probabilidades de fracaso) es debido probablemente al mismo problema de sincronía de períodos de descanso encontrado en el caso determinístico, a pesar de los efectos de la sincronía están diluidos por la variación en tales períodos cuando se trata de ejecuciones estocásticas. Algunas de las bajas probabilidades de fracaso a densidades altas pueden ser explicadas por la moderación del efecto de sincronía.

Una razón por la cual las probabilidades de fracaso más bajas, a densidad de 120 personas/km², afectan todos los resultados obtenidos utilizando versiones corrientes del KPROG2, está en una sobre-dependencia del pH como un predictor de producción por hectárea de los cultivos. La sostenibilidad de la productividad en altas densidades poblacionales es por demasiado optimista, debido al hecho de que valores de pH son mantenidos a niveles relativamente alto a través de sucesivas quemadas. En los suelos bastante ácidos de la carretera Transamazónica, la mal calidad de quema resulta en la elevación insuficiente del pH, el cual ha sido un problema frecuente en los primeros años de colonización. El pH ha, en la verdad, se mostrado un excelente predictor de la producción por hectárea de varios cultivos. El efecto del pH en la producción no es una simple acción del pH individualmente, y si un problema relacionado tanto a correlaciones entre valores de pH y varios nutrientes importantes, como a la mayor disponibilidad de los nutrientes existentes para uso por las plantas, a niveles de pH más altos. Debido al hecho que los conjuntos de informaciones disponibles para la previsión de producciones de cultivos eran muy pequeños, durante los primeros años de colonización, el pH del suelo ocultó el efecto de otros nutrientes, así como escondió los efectos físicos y biológicos. Esto no implica, necesariamente, que otros factores no aumentarían su importancia en relación a la limitación de las producciones por hectárea con el pasar del tiempo, independiente de los niveles de pH. En el caso de densidades poblacionales simuladas muy altas, menores intervalos entre períodos de cultivo resultan en quemadas más frecuentes para cada pedazo de tierra y, consecuentemente, un pH más alto y mayores rendimientos para cultivos cuyas producciones por hectárea son predictas primariamente o solamente con base en el pH. Esto debe ser visto como un resultado de la deficiencia en el conjunto de informaciones relativas a otros predictores de producción por hectárea, en vez de una representación que pudiese realmente ser esperada a ocurrir en estas altas densidades poblacionales. La modificación de las sub-rutinas para predicción de producciones no puede ser justificada debido a limitaciones en el presente conjunto de informaciones.

Además de los desvíos de las tendencias esperadas discutidas arriba, algunas diferencias entre estas curvas y la curva hipotética de la probabilidad de fracaso del colono con un aumento de la densidad, pueden ser resultados de la faja de densidades mostradas en los gradientes simulados. Descartados hasta el momento los problemas que lleven a rendimientos irrealísticamente altos, se debe esperar que todas las curvas suban hasta una probabilidad de fracaso de 1.0 a una densidad poblacional extremadamente alta, localizada fuera de las figuras en varios casos. En realidad, el punto conseguido por la curva de densidad poblacional, sería probablemente, más bajo de lo que indica la Figura 10. La cuestión de mayor interés es: qué sucede, en densidades poblacionales más bajas, con las curvas de probabilidad de fracaso? Para ejecuciones estocásticas, que son más realistas que las ejecuciones determinísticas, la probabilidad de fracaso parece sugerir, por lo menos, una disminución, si se trata de densidades poblacionales bajas, dinero y proteína animal, que son los criterios más sensibles entre los cuatro criterios de consumo por capita. La variabilidad de los resultados en ejecuciones estocásticas torna imposible cualquier conclusión firme en este punto, sin un gran número de ejecuciones. Una cosa es clara: mismo con la dependencia de pH y otros aspectos inherentes al programa, como constituido presentemente, tendiendo a producir resultados demasiado optimistas, las probabilidades de fracaso mismo a las más bajas densidades simuladas, son bien altas para la mayoría de los criterios. Deve ser recordado que las probabilidades de fracaso mostradas en la Figura 10 son probabilidades anuales, y que una probabilidad de fracaso de 0.1 o menos por año implica en una alta probabilidad de fracaso, de por lo menos una vez, dentro de un período de algunos años. También, se debe salientarse que las curvas mostradas son solamente para criterios individuales. Cuando criterios múltiples son usados simultáneamente, la probabilidad de que por lo menos uno de los padrones no sea alcanzado es más alta que la probabilidad corespondiente para un criterio individual. Por ejemplo, en la ejecución estocástica de 24 personas/km², para la cual los resultados fueron mostrados anteriormente, la probabilidad más alta de fracaso combinada en los cuatro criterios de consumo por capita es 0.47, enquanto la probabilidad de fracaso basada en criterio individual es de 0.36.

SUPOSICIONES ALTERNATIVAS

PERIODO DE BARBECHADO

Muchas suposiciones fueron alteradas en diferentes ejecuciones para juzgarse el impacto en los resultados de simulaciones. Entre estas estaba el efecto del período de descanso o barbechado, que puede ser controlado a través de la alteración de las probabilidades de roza de purma para cada clase etaria de la tierra en descanso. Un período de descanso de seis años, por ejemplo, puede ser forzado, para los colonos simulados fijandose la probabilidad de corte para todas las clases de edad abajo de seis años en el valor 0.0 y de la probabilidad de corte para todas las clases de seis años o más en el valor 1.0. Esto fue hecho para varias ejecuciones determinísticas en

diferentes densidades poblacionales. A altas densidades, un período de descanso de la tierra de seis años resultaría en fracasos durante los años cuando la gran parte de pedazos de tierra desmontado en el primer año está aún disponible para plantío, y resultaría en algunos sucesos en otros años. No se espera que estas probabilidades de fracaso a densidades altas reflejan probabilidades reales, por las razones mencionadas anteriormente con respecto al efecto de sincronía en el período de barbechado, sobre probabilidades de fracaso en ejecuciones determinísticas a densidades intermedias, con el período de barbechado "libre" siendo determinado por el comportamiento observado de corte de purma entre los colonos de la Transamazónica. A densidades poblacionales más bajas, este factor no sería un problema. A 12 personas/km², con el sector poblacional congelado como antes (correspondiendo a la parcela de 50 ha), la probabilidad de fracaso del colono en proteína animal es 0.2, contrastando con la probabilidad de 1.0 para la ejecución de descanso libre. En se tratando de calorías y proteína total ambos resultan en probabilidad cero de fracaso, tanto en el caso del período fijo de seis años de descanso de la tierra, como en el descanso libre. Probabilidades de fracaso más bajas para proteína animal y dinero por capita, en el caso de seis años de descanso de la tierra, puede indicar la sabiduría de grandes barbechados, correspondiendo a los períodos de barbechado encontrados en áreas de cultivos itinerantes tradicionales, donde períodos de barbechado de la tierra mucho más largos son frecuentemente usados. La re-utilización de crecimiento secundario joven o de hierbas dañinas como conuco de cultivos anuales puede ser un fenómeno de corta duración en el área en estudio (Fearnside, 1980a, 1984d). En el decorrer de tiempo, los colonos pueden modificar su comportamiento agrícola, para utilizar más los métodos de agricultores tradicionales nativos de la región amazónica. Moran & Fleming-Moran (1974) sugeriran que tal proceso de aculturación puede estar ocurriendo entre colonos vindos de otras regiones del Brasil. Como en el caso de períodos más largos de descanso forzado de la tierra, los efectos de tales modificaciones pueden ser testados a través de la simulación.

TIPOS DE COLONOS

El efecto de la alteración de la composición de la población de colonos fue examinado. Esto es importante debido a la relación del tipo de colono con su comportamiento de alocación del uso de la tierra (Fearnside, 1982a). Mudanzas en la alocación del uso de la tierra causadas por la substitución de la población de colonos son de interés especial debido a la importancia de tales mudanzas para el futuro del área, así como para muchas conclusiones relacionadas a la capacidad de soporte humano. La influencia de la substitución de los colonos puede ser vista a través de las informaciones sobre el uso de la tierra en cuatro ejecuciones del KPROG2 (Fig. 11).(6) En el caso de las dos ejecuciones con colonos de la categoría trabajador-agricultor solamente, todas las parcelas simuladas (diez parcelas en cada ejecución) son inicialmente ocupadas por trabajadores-agricultores y, encuanto los procesos demográficos proceden normalmente, incluyendo inmigración y emigración de unidades

familiares, todos los colonos recién-llegados son también del tipo trabajador-agricultor. Las diferencias con ejecuciones que incluyen todos los cuatro tipos de colonos son aparentes. En las ejecuciones con poblaciones que tienen todos los tipos de colonos simulados, la mayoría de los colonos originales son substituidos por recién-llegados hasta el final del período de diez años representado en la Figura 11. Durante los primeros tres años de este período, solamente 30% de los colonos originales permanecen. Esto resultará en un grande aumento en la representación de otros tipos de colonos a las costas de los trabajadores-agricultores.

En las ejecuciones de simulación con parcelas de diez há (Fig. 11), la población mixta planta más que todos los grupos de cultivos de subsistencia de que plantan los trabajadores-agricultores: 15.2% a más de arroz, 8.9% a más de maíz (con una corrección para la densidad de plantío y condición consorciada), 53.4% a más de "frijoles" (*Phaseolus* y *Vigna* juntos), y 13.4% a más de "yuca" (yuca brava y doce juntos). Este resultado confirma la impresión general de que trabajadores plantan conucos menores de que otros tipos. El mismo padrón sirve para las parcelas de cinco hectáreas, con la única excepción siendo el plantío de arroz, que es un poco más bajo en la población mixta de que en el caso de solamente trabajadores. Aquí la población mixta planta 1.8% a menos de arroz, 22.6% a más de maíz, 20.8% a más de "frijoles" y 28.6% a más de "yuca" de que la población de trabajadores.

Las pequeñas cantidades de cacao y pasto indicada para trabajadores en la ejecución de parcelas de cinco hectáreas, en contraste con ninguna en la ejecución de la población mixta, probablemente no representa una diferencia significativa, ya que un exame más minucioso de la salida del programa revela que fueran solamente alocados por un colono en cada caso, con solamente un pedazo de tierra de cacao y dos de pasto con animales siendo involucrados.

Las pequeñas extensiones de tierras alocadas a el cacao, pimienta-del-reino y pasto son evidentes en todas las ejecuciones mostradas en la Figura 11. Estos valores son irrealisticamente bajos, especialmente en los casos donde la población es compuesta principalmente de recién-llegados. El tamaño de parcela bastante pequeño usado en la simulación, comparado con aquellos de los colonos reales en la carretera Transamazónica, puede ser una explicación parcial. Una razón más importante es el problema de las alocaciones durante los primeros años de asentamiento, sobre los cuales los datos para los parámetros del programa están basados, siendo diferentes en algunas maneras de alocaciones en los años subsecuentes.

Las implicaciones para la capacidad de soporte debido al comportamiento de alocación del uso de la tierra entre colonos de diferentes tipos dependen del factor crítico para la determinación de la capacidad de soporte como definida operacionalmente: la probabilidad de fracaso del colono. Probabilidades de fracaso para ejecuciones con tipos mixtos y con trabajadores solamente surgen chances más

altas de fracaso para trabajadores, por la mayoría de los criterios (Fig. 12). Todas las probabilidades de fracaso presentadas son medias de los últimos diez años simulados.

Valores para la probabilidad de fracaso combinada del colono representan la probabilidad de cualquier uno de los cuatro criterios de consumo (calorías, proteína total, proteína animal y dinero por capita) no ser alcanzados. Las probabilidades combinadas han más sentido en terminos de capacidad de soporte de que probabilidades de fracaso en cada criterio individual. Las probabilidades en la Figura 12 son bien altas, en parte indubitablemente debido a las densidades extremadamente altas de las poblaciones simuladas en estas ejecuciones en parcelas simuladas de cinco y diez hectáreas. Las probabilidades de fracaso del colono fueran encontradas como siendo bien altas, a pesar de no tan altas como estas, en todas las densidades simuladas. Probabilidades de fracaso son generalmente más altas en densidades más altas, como sería esperado del relacionamiento hipotético entre densidad de población y probabilidad de fracaso del colono. Probabilidades combinadas de fracaso del colono aparentemente aumentan con la densidad poblacional en ejecuciones estocásticas con todos los tipos de colonos, y con trabajadores solamente, en parcelas simuladas de cinco y diez hectáreas (Fig. 13).(7) Las diferencias en las probabilidades de fracaso del colono entre ejecuciones con poblaciones mixtas y ejecuciones con trabajadores solamente, en la Figura 12, pueden ser, en parte, relacionadas con las diferencias de alocación del uso de la tierra discutidas anteriormente (Fig. 11), a pesar de la información ser muy escasa para cualquier conclusión firme. Diferencias en las probabilidades de fracaso para colonos de diferentes tipos pueden ser también explicadas por las diferencias de densidades entre estas ejecuciones simuladas (Fig. 13).

En suma, la cuestión permanece abierta en lo que dice respecto a se los trabajadores han o no mayores probabilidades de fracaso de que otros tipos de colono. A pesar de los resultados ser insuficientes para resolver esta cuestión, las diferencias en las ejecuciones de alocación del uso de la tierra en poblaciones mistas y de trabajadores solamente sugeren que este tal vez sea el caso.

CONCLUSIONES SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE

La interpretación de las probabilidades de fracaso del colono, en terminos de capacidad de soporte, depende del valor crítico usado como un criterio de decisión para la probabilidad máxima aceptable de fracaso del colono. La probabilidad máxima aceptable es un valor que puede ser seleccionado por el proyectista. Un valor es implicado por el sistema de clasificación del uso de la tierra usado por el Proyecto RADAM (actualmente RADAMBRASIL) del gobierno brasileño, en el mapeamiento de la cuenca Amazónica. El informe del RADAM, cobriendo la área en estudio en la carretera Transamazónica, classifica el suelo como "bueno", si no se espera el fracaso del agricultor más de una vez a cada cinco años (Brasil, RADAMBRASIL, 1974: Vol. 5,

III/117). Isto corresponde a una probabilidad de fracaso anual de 0.13. En ejecuciones estocásticas (más realistas), las probabilidades de fracaso son siempre arriba de este valor para todos los criterios individuales (Fig. 10), y más arriba aún, cuando se basea en más de un criterio. Utilizando el valor de 0.13 como crítico para probabilidad máxima aceptable de fracaso del colono, la capacidad de soporte indicada estaría probablemente, abaja (posiblemente bien más baja) de la densidad poblacional mínima simulada en las actuales ejecuciones estocásticas de 24 personas/km². Más ejecuciones, a estas densidades bajas, son necesarias para confirmar esta conclusión. Ya que la mayoría de las formas, en las cuales el comportamiento de la simulación desvía de condiciones conocidas en la carretera Transamazónica, penden para el lado optimista, el refinamiento de las técnicas de estimativas probablemente resultaría en valores más bajos para la capacidad de soporte.

Los efectos de la variabilidad sobre capacidad de soporte son manifestados en diferentes formas para diferentes criterios y a diferentes densidades poblacionales. Es claro que los altos niveles de variabilidad observados en varias partes del agroecosistema son críticos para los resultados de las estimativas de gradientes de probabilidad de fracaso del colono con la densidad, y dallí para la capacidad de soporte, como definida operacionalmente. El papel de la variabilidad es mostrado por diferencias marcantes entre los resultados de ejecuciones determinísticas y estocásticas. Los resultados del presente estudio dan algun soporte a la importancia dada a la variabilidad, y sugeren que este es un factor clave que no puede ser despreciado en el alcance del objetivo de producir estimativas viables de la capacidad de soporte.

El actual estudio confirma la opinión informal de muchos de que la capacidad de soporte en áreas tropicales, tales como la área en estudio intensivo, es muy baja para agricultores sostenidos principalmente en cultivos anuales. Deve ser enfatizado que el estudio, de manera ninguna, implica que el desarrollo de estas tierras a través de grandes emprendimientos, como en la conversión de extensas áreas en pastos para ganado, puede proveer los rendimientos sostenibles necesarios para soportar una población en una capacidad de soporte más alta. Al contrario, las simulaciones de pasto (Fearnside, 1979a, 1980b) levantan serias dudas sobre la posibilidad de esta forma de producción producir tales rendimientos sostenibles.

Áreas de foresta tropical están siendo desarrolladas con velocidad y intensidad de exploración cada vez mayor en todo el mundo, obligando los proyectistas a escoger, con urgencia, estrategias de desarrollo adecuadas.(8) Una consideración principal en tal planificación es la sostenibilidad, un factor intimamente ligado a la capacidad de soporte, ya que exceder la capacidad de soporte sostenible puede ser una vía por la cual sistemas de explotación, de otras maneras sostenibles, fallan en permanecer como tal.

AGRADECIMIENTOS

Apoyo financiero vino del National Science Foundation (NSF) (GS-42869), Resources for the Future (RFF), Institute for Environmental Quality (IEQ), Universidad de Michigan, y del Programa do Trópico Úmido (PTU), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Agradezco al Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) por el apoyo logístico y análisis de suelos; al Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), a la Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMBRATER), al Museo Paraense Emílio Goeldi (MPEG), y al Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), que deran el apoyo logístico durante el trabajo de campo. El Museo de Zoologia da Universidad de São Paulo (USP) y el IEQ contribuiran con perforación de cartones de computador. J.M. Chernela, J.G. Gunn y J.M. Robinson hicieron sugerencias en el actual trabajo. Francisco Peralta y Luis Castro Morales revisaron el español. Agradezco al Plenum Publishing Company por la permisión de publicar esta traducción (Fearnside, 1985b). Ninguno de los puntos de vista en el trabajo son responsabilidad de las organizaciones que apoyaran la investigación, ni de los muchos individuales que contribuiran en sugerencias. Cualesquier errores son mis propios.

NOTAS:

(1) En el modo dinámico del sector poblacional, las tasas de mortalidad son relacionadas al consumo de calorías y de proteínas a través de los factores derivados por el grupo de modelaje Mesarovic-Pestel para el sector poblacional de sus modelos mundiales multi-nivelados (Ochmen & Paul, 1974; Weisman, 1974). La fertilidad permanece fija. Los parámetros son de los datos del recenseamiento de 1970 referentes a la población rural brasileña (da Mata et al., 1973: 175). Son basadas en datos de campo las partes del sector poblacional para casamiento de los colonos y para inmigración y emigración de individuales y de unidades familiares.

(2) Entre las cuatro características diagnosticas usadas por Moran (1976, 1981), solamente dos (experiencia urbana y la previa propiedad o manejo de la tierra) fueron utilizadas en la tipología modificada. La frecuencia de migraciones anteriores y la cantidad de bienes durables en la hora de la llegada no fueron utilizadas. La cantidad de bienes durables al llegar en la área difere de acuerdo con el tipo de colono (Fearnside, 1986a) y, en el KPROG2, son generados separadamente para cada tipo.

(3) Los datos usados en la derivación de la matriz de probabilidades de transición, para la calidad inicial del suelo, fueran calculadas con base en parcelas de 100 há divididos en pedazos ("patches") de 1 há. La misma matriz fue utilizada para todas las ejecuciones.

(4) El padrón de Organización de Agricultura y Alimentación de la Organización de las Naciones Unidas (UN-FAO) de 25 g/persona/día, utilizado para proteína animal, es bastante alto, un valor de 10 g/persona/día siendo considerado adecuado por muchas autoridades, o hasta menos, dependiendo de diversos factores (McArthur, 1977). El valor más alto es consistente con los padrones usados por los órganos gubernamentales brasileños (Brasil, Ministério da Agricultura, ACAR-PARÁ, 1974). La alta prioridad dada a la carne por los brasileños (incluida en el sector de alocación del producto de KPROG2) asegura que el consumo de proteína animal es más de que adecuado, del punto de vista nutricional, si suficientes recursos son disponibles.

(5) Todos los valores en cruzeiros usados en el programa son corregidos para la inflación, hasta 1 enero 1975. En esta época, el salario mínimo mensual en el Pará era de Cr75\$326.40 y la tasa cambial para el dólar norte-americano era 7.4. Estas unidades son designadas "Cr75\$".

(6) Los valores para áreas presentados en la Figura 11 se refieren a áreas plantadas en el caso de todas las culturas, con la excepción de yuca brava y yuca doce. Áreas para estos tuberculos referense solamente a las áreas cosechadas. Las áreas de arros son áreas totales tanto para arroz soltero como para arroz consorciado. La área de maíz es el total de maíz soltero y maíz consorciado, con una corrección para densidad

de planta para dar el equivalente en terminos de maíz plantado soltero, hecho utilizando un factor de corrección de 0.647 para maíz consorciado, calculado a partir de Fearnside (1978: 580) como media ponderada.

(7) Todas las ejecuciones presentadas en la Figura 13 tenían el sector poblacional dinámico, con la excepción de la ejecución con la población restringida a los trabajadores solamente, a la densidad de 60 personas/km², que tenía el sector poblacional congelado. Las ejecuciones para las cuales las probabilidades de fracaso son presentadas para criterios individuales en la Figura 12; son aquellos en las densidades de 64.0 y 71.3 personas/km².

(8) Vea Moran (1981), Smith (1981, 1982), Eden (1978), Fearnside (1979d, 1982c, 1983b,c, 1985a,c), Myers (1980).

BIBLIOGRAFIA

Allan, W. 1949. Studies in African land usage in Northern Rhodesia. Rhodes Livingstone Papers (15): 1-23.

Allan, W. 1965. The African Husbandman. New York, EE.UU: Barnes and Noble. 505 p.

Bayliss-Smith, T.P. 1980. Population pressure, resources and welfare: towards a more realistic measure of carrying capacity. p. 61-133 In: H.C. Brookfield (compilador) Population-environment relations in tropical islands: the case of Eastern Fiji. Man and the Biosphere (MAB) Technical Notes 13. Paris, Francia: UNESCO.

Brasil, Associação de Crédito e Assistência Rural do Estado do Pará, 1974. Curso de atualização técnica pedagógica: nutrição. Convênio UNICEF/IPMO/ABCAR/ACAR-PARÁ. Agrópolis Brasil Novo, ACAR-PARÁ. (mimeo).

Brasil, Presidência da República, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 1978. WAC Carta Aeronáutica Mundial. Belém, Brasil WAC 2946 (escala 1:1'000,000). 1a. ed. Rio de Janeiro, Brasil: IBGE.

Brasil, Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produto Mineral, (DNPM), Projeto RADAMBRASIL. 1973-1983. Levantamento de Recursos Naturais, Vols. 1-23. DNPM, Rio de Janeiro.

- Brush, S.B. 1975. The concept of carrying capacity for systems of shifting cultivation. American Anthropologist 77: 799-811.
- Brush, S.B. 1976. Reply to Vayda. American Anthropologist 78: 646-647.
- Bunker, S.G. 1980. Barreiras burocráticas e institucionais à modernização; o caso da Amazônia. Pesquisa e Planejamento Econômico 10(2): 555-600.
- Carneiro, R.L. 1960. Slash-and-burn agriculture: A closer look at its implications for settlement patterns. p. 229-234 In: F.C. Wallace (compilador) Men and Cultures: Selected Papers of the Fifth International Congress of Anthropological and Ethnological Sciences, September 1956. Philadelphia, Pennsylvania, EE.UU: University of Pennsylvania Press.
- Conklin, H.C. 1959. Population-land balance under systems of tropical forest agriculture. In: Proceedings of the 9th Pacific Science Congress (Bangkok, 1957) 7: 63.
- Cowgill, G.I. 1975. On causes and consequences of ancient and modern population changes. American Anthropologist 77: 505-525.
- Eden, M.J. 1978. Ecology and land development: the case of Amazonian rainforest. Transactions of the Institute of British Geographers New Series 3(4): 444-63.
- Feachem, R. 1973. A clarification of carrying capacity formulae. Australian Geographical Studies 11: 234-236.
- Fearnside, P.M. 1972. An estimate of the carrying capacity of the Osa Peninsula for human populations supported on a shifting agriculture technology. p. 452-486 In: Report of Research Activities Undertaken during the Summer of 1972. San José, Costa Rica: Organization for Tropical Studies. 810 p.
- Fearnside, P.M. 1974. Preliminary models for estimation of carrying capacity for human populations in a colonization area of the Transamazon highway, Brazil (mimeo).
- Fearnside, P.M. 1978. Estimation of carrying capacity for human populations in a part of the transamazon highway colonization area of Brasil. Tesis (Ph.D.) University of Michigan, Ann Arbor, University Microfilms International, Ann Arbor, Michigan, EE.UU. 624 p.
- Fearnside, P.M. 1979a. Previsão da produção bovina na Transamazônica do Brasil. Acta Amazonica 9(4): 689-700.

- Fearnside, P.M. 1979b. O agro-ecossistema dos colonos da Transamazônica: simulação de produção de milho. Ciência e Cultura 31(7) suplemento: 414 (resumen).
- Fearnside, P.M. 1979c. A simulação da capacidade de suporte para populações humanas nos trópicos úmidos: Programa de computador e documentação. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Brasil. 546 p.
- Fearnside, P.M. 1979d. O desenvolvimento da floresta amazônica: problemas prioritários para a formulação de diretrizes. Acta Amazonica 9(4) suplemento: 123-129.
- Fearnside, P.M. 1980a. A previsão de perdas através de erosão do solo sob vários usos da terra na área de colonização da rodovia Transamazônica. Acta Amazonica 10(3): 505-511.
- Fearnside, P.M. 1980b. Desmatamento e roçagem de capoeira entre os colonos da Transamazônica e sua relação à capacidade de suporte humano. Ciência e Cultura 32(7) suplemento: 511 (resumen).
- Fearnside, P.M. 1980c. Os efeitos das pastagens sobre a fertilidade do solo na Amazônia brasileira: conseqüências para a sustentabilidade de produção bovina. Acta Amazonica 10(1): 119-132.
- Fearnside, P.M. 1980d. Black pepper yield prediction for the Transamazon highway of Brazil. Turrialba 30(1): 35-42.
- Fearnside, P.M. 1981. Condições iniciais de qualidade de solo na Transamazônica e a sua simulação em modelos para a estimativa de capacidade de suporte humano. Ciência e Cultura 33(7) suplemento: 507 (resumen).
- Fearnside, P.M.. 1982a. Alocação do uso da terra dos colonos da rodovia Transamazônica e sua relação a capacidade de suporte humano. Acta Amazonica 12(3): 549-578.
- Fearnside, P.M. 1982b. Simulação de parâmetros meteorológicos para a estimativa de capacidade de suporte humano na área de colonização da Transamazônica. Ciência e Cultura 34(7) suplemento: 608-609 (resumen).
- Fearnside, P.M. 1982c. Desmatamento na Amazônia brasileira: com que intensidade vem ocorrendo? Acta Amazonica 7(2): 82-88.

- Fearnside, P.M. 1983a. Stochastic modeling and human carrying capacity estimation: a tool for development planning in Amazonia. p. 279-295 In: E.F. Moran (compilador) The Dilemma of Amazonian Development. Boulder, Colorado, EE.UU: Westview Press. 347 p.
- Fearnside, P.M. 1983b. Opciones de desarrollo en la Amazonia Brasileña: una evaluación ecológica. p. 139-169 In: Expansión de la Frontera Agropecuaria y Medio Ambiente en la América Latina. Madrid, España: CEPAL/PNUMA/CIFCA. 427 p.
- Fearnside, P.M. 1983c. Land use trends in the Brazilian Amazon as factors in accelerating deforestation. Environmental Conservation 10(2): 141-148.
- Fearnside, P.M. 1984a. Brazil's Amazon settlement schemes: conflicting objectives and human carrying capacity. Habitat International 8(1): 45-61.
- Fearnside, P.M. 1984b. Initial soil quality conditions on the Transamazon Highway of Brazil and their simulation in models for estimating human carrying capacity. Tropical Ecology 25(2): 1-21.
- Fearnside, P.M. 1984c. The simulation of meteorological parameters for estimating human carrying capacity in Brazil's Transamazon Highway colonization area. Tropical Ecology 25(1): 136-144.
- Fearnside, P.M. 1984d. Land clearing behaviour in small farmer settlement schemes in the Brazilian Amazon and its relation to human carrying capacity. p. 255-271 In: A.C. Chadwick y S.L. Sutton (compiladores) Tropical Rain Forest: The Leeds Symposium. Leeds, Inglaterra: Leeds Philosophical and Literary Society. 335 p.
- Fearnside, P.M. 1985a. Environmental change and deforestation in the Brazilian Amazon. p. 70-89 In: J. Hemming (compilador) Change in the Amazon Basin: Man's Impact on Forests and Rivers. Manchester, Inglaterra: Manchester University Press. 222 p.
- Fearnside, P.M. 1985b. A stochastic model for estimating human carrying capacity in Brazil's Transamazon Highway colonization area. Human Ecology 13(3): 331-369.
- Fearnside, P.M. 1985c. Agriculture in Amazonia. p. 393-418 In: G.T. Prance y T.E. Lovejoy (compiladores) Key Environments: Amazonia. Oxford, Inglaterra: Pergamon Press. 442 p.
- Fearnside, P.M. 1986a. Human Carrying Capacity of the Brazilian Rainforest. New York, EE.UU: Columbia University Press. 293 p.

- Fearnside, P.M. 1986b. Predição da qualidade da queimada na Transamazônica para simulação do agro-ecossistema em estimativas de capacidade de suporte humano. Ciência e Cultura 38(11): 1804-1811.
- Glassow, M.A. 1978. The concept of carrying capacity in the study of culture process. Vol. 1, p. 31-48 In: M.B. Schiffer (compilador) Advances in Archaeological Method and Theory. New York, EE.UU: Academic Press.
- Goodland, R.J.A. & Irwin, H.S. 1975. A Selva Amazônica: do Inferno Verde ao Deserto Vermelho? São Paulo, Brasil: Editora Universidade de São Paulo/Editora Itatiaia. 156 p.
- Gourou, P. 1966. The Tropical World: its Social and Economic Conditions and its Future Status, 4a. ed. New York, EE.UU: Longman. 196 p.
- Hardesty, D.L. 1977. Ecological Anthropology. New York, EE.UU: John Wiley. 310 p.
- Hayden, B. 1975. The carrying capacity dilemma: an alternate approach. p. 11-21 In: A.C. Swedlund (compilador) Population Studies in Archaeology and Biological Anthropology: a Symposium. Washington, D.C., EE.UU: Society for American Archaeology Society for American Archaeology, Memoir 30.
- Kingsland, S. 1982. The refractory model: the logistic curve and the history of population ecology. Quarterly Review of Biology 57: 29-52.
- Kleinpenning, J.M.G. 1975. The integration and colonization of the Brazilian portion of the Amazon Basin. Nijmegen, Holanda: Institute of Geography and Planning.
- Kleinpenning, J.M.G. 1979. An evaluation of the Brazilian policy for the integration of the Amazon Basin (1964-1975). Nijmegen, Holanda: Vakroep Sociale Geografie van de Ontwikkelingslanden, Geografisch en Planologisch Instituut, Publikatie 9.
- da Mata, M., de Carvalho, E.W.R., & Silva, M.T.I.I. de C. 1973. Migrações internas no Brasil, aspectos econômicos e demográficos. Rio de Janeiro, Brasil: IPEA/INPES Relatório de Pesquisa 10.
- McArthur, M. 1977. Nutritional research in Melanesia; a second look at the Tsembaga. p. 91-128 In: T.P. Bayliss-Smith y R.G. Feachem (compiladores) Subsistence and Survival: Rural Ecology in the Pacific. New York, EE.UU: Academic Press.

- Moran, E.F. 1976. Agricultural development in the Transamazon Highway. Latin American Studies Working Papers. Bloomington, Indiana, EE.UU: Indiana University. 136 p.
- Moran, E.F. 1981. Developing the Amazon. Bloomington, Indiana, EE.UU: Indiana University Press. 292 p.
- Moran, E.F. & Fleming-Moran, M. 1974. Confronto de adaptação em projetos de colonização. p. 18-25 In: Documentos oriundos de seminários técnicos de apoio. Belém, Brasil: Universidade Federal do Pará.
- Myers, N. 1980. Conservation of tropical moist forests. Washington, D.C., EE.UU: National Academy of Sciences. 205 p.
- Ochmen, K.H. & Paul, W. 1974. Report on the population models. p. B.362-467 In: Proceedings of the Seminar on the Regionalized Multi-level World Model, Laxenburg, Austria, April 29-May 3, 1974. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA).
- Pearl, R. & Reed, L.J. 1920. On the rate of growth of the population of the United States since 1790 and its mathematical representation. Proceedings of the National Academy of Sciences 6(6): 275-288.
- Schacht, R.M. 1980. Two models of population growth. American Anthropologist 82(4): 782-798.
- Smith, N.J.H. 1976. Transamazon Highway: a Cultural-ecological Analysis of Colonization in the Humid Tropics. Tesis (Ph.D.) University of California, Berkeley, California, EE.UU. 372 p.
- Smith, N.J.H. 1981. Colonization lessons from a tropical forest. Science 214: 755-761.
- Smith, N.J.H. 1982. Rainforest Corridors: The Transamazon Colonization Scheme. Berkeley, California, EE.UU: University of California Press. 248 p.
- Street, J.M. 1969. An evaluation of the concept of carrying capacity. Professional Geographer 21(2): 104-107.
- Universidad de Michigan, Statistical Research Laboratory Staff, 1976. The Michigan Terminal System. Vols. 1-16. Ann Arbor, Michigan, EE.UU: University of Michigan.

- Vayda, A.P. 1969. An ecological approach in cultural anthropology. Bucknell Review 17(1): 112-119.
- Vayda, A.P. 1976. On the "New Ecology" paradigm. American Anthropologist (78): 645-646.
- Vayda, A.P. y McCay, B.J. 1975. New directions in ecology and ecological anthropology. Annual Review of Anthropology (4): 293-306.
- Verhulst, P.F. 1838. (1965). Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. Correspondence Mathematique et Physique, Paris (10): 113-121 (Traducción inglesa abreviada) p. 64-66 In: E.J. Kormondy (compilador) Readings in Ecology. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall. 219 p.
- Weisman, T. 1974. A model for the relationship between selected nutritional variables and excess mortality in populations. p. B.481-498 In: Proceedings of the Seminar on the Regionalized Multi-level World Model, Laxenburg, Austria, April 29-May 3, 1974. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA).
- Wilbur, H.M. 1972. Competition, predation and the structure of the Ambystoma-Rana sylvatica community. Ecology 53: 3-21.
- Wilson, E.O. & Bossert, W.H. 1971. A primer of population biology. Stamford, Connecticut, EE.UU: Sinaur Associates. 192 p.
- Wood, C. & Schmink, M. 1983. Culpando a vítima: pequena produção agrícola em um projeto de colonização na Amazônia. p. 70-79 In: L.J.A. Mougeot y L.E. Aragón, (compiladores) O Despovoamento do Território Amazônico. Belém, Pará, Brasil: Núcleo de Altos Estudos Amazônicos (NAEA), Universidade Federal do Pará, Cadernos NAEA 6.

LEGENDAS DE LAS FIGURAS

Fig. 1. Mapa de la Amazonía Legal brasileña, indicando las carreteras existentes hasta 1985. La Transamazónica sigue paralela al curso del río Amazonas, aproximadamente 200-500 km al sul.

Fig. 2. La capacidad de soporte (K), determinada a partir de un gradiente de probabilidad de fracaso del colono con aumento de densidad poblacional humana. Las probabilidades de fracaso son aquellas que serían sostenibles al largo de un grande período de tiempo, dado presunciones apropiadas. Observa-se que esta curva aumenta en la región de densidades bajas, debido a la falta de infra-estructura y de otros beneficios de la sociedad. La capacidad de soporte (K) corresponde al punto donde el aumento en las probabilidades de fracaso, dependiente de densidad, resulta en índices de fracaso que ultrapasan la probabilidad máxima aceptable de fracaso del colono (P).

Fig. 3. El efecto hipotético de la variabilidad sobre las probabilidades de fracaso y sobre la capacidad de soporte. A las densidades bajas, más colonos fracasan en condiciones de alta variabilidad, por que más colonos obtienen rendimientos insuficientes para poder alcanzar los padrones. A las densidades muy altas, las probabilidades son disminuidas, debido a algunos pocos colonos obtienen rendimientos arriba de la média al mismo tiempo que la mayoría están fracasando. Dentro de la faja de densidades que incluye la capacidad de soporte, espera-se que la variabilidad resulte en un aumento en las probabilidades de fracaso, con consecuente decrecimo de la capacidad de soporte, por ejemplo de los valores " K_1 " a " K_2 ".

Fig. 4. Diagrama de alzas causales simplificado del programa KPROG2. Las señales indican la dirección de la mudanza esperada en el valor del punto indicado por la flecha correspondiente, caso aumente el valor en la coda de la flecha.

Fig. 5. Diagrama de alzas causales de las relaciones entre algunas de las variables incluidas en el programa KPROG2.

Fig. 6. Flujograma resumido del programa KPROG2, con agrupamiento de las operaciones por nivel.

Fig. 7. Media, para la área como un todo, de calorías per capita, en una ejecución estocástica que serve como ejemplo del programa KPROG2 con el sector poblacional congelado en 24 personas/km².

Fig. 8. Proporción de las parcelas abajo del padrón de 2550 calorías por capita por día en la ejecución estocástica que serve como ejemplo del programa KPROG2 con el sector poblacional congelado en 24 personas/km².

Fig. 9. La proporción de las parcelas abajo del padrón para calorías per capita versus la media de calorías por capita referente a la área como uno todo, para los mismos años, en varias ejecuciones de KPROG2, mostrando el efecto de la variabilidad (entre parcelas) en el consumo y en la producción sobre la probabilidad de fracaso. La flecha indica el padrón mínimo utilizado.

Fig. 10. Las probabilidades de fracaso del colono en cuatro criterios de consumo versus la densidad poblacional. Ejecuciones estocásticas son indicadas por bolas y líneas continuas; ejecuciones determinísticas por triángulos y líneas pontilladas. Criterios de fracaso: A.) calorías, B.) proteína total, C.) proteína animal, D.) dinero por capita.

Fig. 11. Uso de la tierra simulado de acuerdo con el tipo de colono. La substitución de la población de colonos en estas ejecuciones, todas hechas con el sector poblacional dinámico, significa que, en la mayoría de las parcelas, los colonos originales están siendo substituidos por recién-llegados. La substitución resulta en ejecuciones con todos los tipos de colonos representados (baras sombradas) siendo, en la mayoría, no-trabajadores. Los resultados de ejecuciones con los tipos de colonos restringidos a agricultores-trabajadores (baras abiertas) sugieren que estos colonos plantan áreas menores de que los colonos de otros tipos.

Fig. 12. El tipo de colono y las probabilidades de fracaso. La ejecución mostrada con la población de colonos restringida a los agricultores-trabajadores (baras abiertas) parece haber probabilidades de fracaso más altas, para la mayoría de los criterios, de que en el caso de la población con todos los tipos de colono, pero los efectos de densidad (Fig. 13) pueden también explicar estas diferencias. Las ejecuciones son para un tamaño de parcela de diez hectáreas con el sector poblacional dinámico. Las densidades poblacionales son 64.0 personas/km² para la ejecución con todos los tipos de colono y 71.3 personas/km² para la ejecución con trabajadores solamente.

Fig. 13. Probabilidades combinadas de fracaso de colono en diferentes densidades poblacionales, para poblaciones de colonos con todos los tipos de colonos (triángulos y línea pontillada) y con trabajadores solamente (bolas y línea continua).

Tabla 1: Operaciones del Programa KPROG2 por Nivel y Sector

Nivel	Sector	Operación
Geración de condiciones iniciales	Recursos iniciales	Calidad inicial del suelo(a)
	Población	Población inicial
		Capital inicial
Operaciones específicas al año	Producción agrícola	Geración de padrones meteorológicos
		Infermidades de las culturas(a)
	Alocación del uso de la tierra(a)	Determinación de estrategia
		Determinación de las necesidades de semilla
		Determinación de las necesidades de subsistencia
		Caza
		Trabajo remunerado y otros rendimientos
		Financiamiento
		Manutención de culturas perenes y pasto
		Deforestación de foresta y roza de purma
		Alocación de culturas

Verificación de la
suficiencia de
mano-de-obra y capital

Alocación Precios
del producto

Población Salud

Calculo de equivalentes de
mano-de-obra familiar

Generación de la población
de recién-llegados

Operaciones específicas a los pedazos de tierra	Producción agrícola	Suelos (Calidades de las quemadas, Efecto de las quemadas, Erosión, Mudanza en el suelo, Suelos sob pasto, Fertilizantes)
---	------------------------	--

Rendimientos
(Arroz,
Maíz,
Frejol
(Phaseolus),
Frijoles-de-cuerda
(Vigna),
Yuca brava,
Yuca doce,
Pasto,
Cacao,
Pimienta-del-reino)

Operaciones específicas a la parcela	Producción agrícola	Animales domésticos
--	------------------------	---------------------

Alocación Transportes hasta el

del producto mercado

Pagamientos de empréstitos

Tampones contra fracasos

Alocaciones de dinero

Populación Cálculos nutricionales

Nascimientos y muertes

Inmigración y emigración
individual

Inmigración y emigración
familiar

Estadísticos
del área
total

Capacidad
de soporte

Probabilidades de fracaso
del colono

Estadísticos de
deforestación

Nota: (a) En alzas separados, no mostrados en la Figura 6.